

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-106153

(43)公開日 平成7年(1995)4月21日

| (51)Int.Cl. ⁹ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|--------------------------|-------|---------|----------------|---------|
| H 0 1 F 27/24 | Z A A | | | |
| 6/00 | Z A A | 8123-5E | H 0 1 F 27/ 24 | Z A A H |
| | | | 7/ 22 | Z A A Z |

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平6-108851
(22)出願日 平成6年(1994)5月24日
(31)優先権主張番号 0 6 7 1 8 3
(32)優先日 1993年5月26日
(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 390041542
ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
GENERAL ELECTRIC CO
MPANY
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
クタディ、リバーロード、1番
(72)発明者 ビズハム・ドリー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフ
トン・パーク、バットナム・レーン、7番
(72)発明者 エバンジェロス・トリフォン・ラスカリス
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
クタディ、ランダル・ロード、918番
(74)代理人 弁理士 生沼 徳二

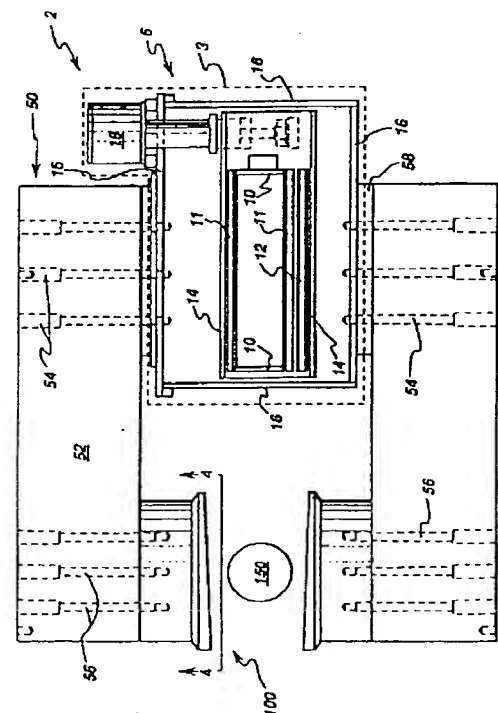
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 C字形超伝導磁石

(57)【要約】

【目的】 イメージング容積の中の磁界を均一にする磁極面を用いるC字形の超伝導磁石を提供する。

【構成】 超伝導コイル手段6、上記コイル手段に動作上結合された強磁性磁心手段50、および上記磁心手段に動作上結合された第1および第2の磁極片100を含み、上記第1および第2の磁極片がそれらの間にギャップを形成するように所定の間隔だけ離して配置され、そして上記第1および第2の磁極片に隣接して受動シム手段108が配置される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 超伝導コイル手段、上記コイル手段に動作上結合された強磁性磁心手段、および上記磁心手段に動作上結合された第1および第2の磁極片を含み、上記第1および第2の磁極片がそれらの間にギャップを形成するように所定の間隔だけ離して配置され、そして上記第1および第2の磁極片に隣接して受動シム手段が配置されているC字形の超伝導磁石。

【請求項2】 上記受動シム手段が更にリング手段を含んでいる請求項1記載のC字形超伝導磁石。

【請求項3】 上記受動シムが更に少なくとも2つの同心リングを含んでいる請求項2記載のC字形超伝導磁石。

【請求項4】 上記リング手段が鉄で構成されている請求項2記載のC字形超伝導磁石。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はC字形超伝導磁石の磁極面の設計に関するものである。この型のこのような構造では一般に、イメージング容積の中の磁界を均一にする磁極面が用いられる。

【0002】

【従来の技術】 現在の超伝導磁気共鳴イメージング (MRI) 磁石では、動作するために、液体ヘリウム、もしくは液体ヘリウムと液体窒素のような冷凍剤が必要とされる。超伝導磁石では液体ヘリウムは、冷却のためだけでなく、動きによって誘導される不安定に対して磁石の巻線を安定化させるためにも使用される。磁石の動作中に冷凍剤が蒸発して失われるので、周期的な冷凍剤の放出作業と冷凍剤の追加が必要になり、これに伴って冷凍剤による安全性の問題が生じる。更に、冷凍剤を使用することにより、低温保持装置の構造が複雑になる。磁石のクエンチ (quench) または冷凍剤格納容器を取り囲む容器の中の真空の喪失の結果生じる圧力サージに耐えるように、圧力容器規準に従って冷凍剤格納容器を作らなければならないからである。重い低温保持装置格納容器では、低温保持装置格納容器を真空容器の中に位置決めして、しかも真空容器を取り囲む周囲温度から格納容器への熱伝導とふく射を最小限にするために、複雑な支持物とシールドが必要になる。

【0003】 低温保持装置格納容器を取り囲む真空容器内へのヘリウムの漏れは、殆どの超伝導磁石での故障の普通の原因である。真空容器内へのヘリウムガスの漏れにより、真空容器を取り囲む周囲温度から超伝導コイルの入っている低温保持装置格納容器への熱伝導が大きくなる。冷凍剤、特にヘリウムのコストは高くなりつつあり、また、経済的に引き合う供給は限定されている。世界の多くの部分ではヘリウムは入手不可能であるので、ニオブチタン (NbTi) 超伝導磁石に基づくMRIシステムは動作させることができない。したがって、この

ような冷凍剤の量を大幅に削減するか、または無くすることができれば、より有利な超伝導磁石が提供されることになる。

【0004】 冷凍剤を用いず、かつ立った状態または横になった状態で患者のイメージングを行うことができるこのような従来技術の磁石の例が米国特許第4924198号に述べられている。しかし、患者が様々の姿勢を取っている状態で患者のイメージングを行うことができるのは有益ではあるが、患者が磁石の中に入ることができ、かつイメージング中に閉所恐怖を経験しないように素早くイメージングを行えるように磁石を構成しなければならない。詳しく述べると米国特許第4924198号では、コイル対の間にギャップを形成する支持物が用いられる。コイル対に対して適切な構造強度を与えるために、これらの支持物が必要とされる。しかし、立っている患者に対してイメージングを行っているときに特にイメージング過程を迅速化できるのは、患者が支持物のまわりを歩く必要がなくコイル対の間の開放領域に簡単に入って行ける場合である。また、患者のイメージングを行う直前またはイメージングを行っている間、患者が支持物を見なければ、患者が抱くことがあり得る不安や閉所恐怖が多分除かれる。したがって、冷凍剤の使用を避けつつ、このようなイメージング時間と患者が抱くかも知れない不安や閉所恐怖を軽減できれば、更に有利な超伝導磁石が得られることになる。

【0005】 冷凍剤を用いず、しかも患者の不安や閉所恐怖が軽減されるこのような従来技術の超伝導磁石の例が、米国特許第5153546号に述べられている。この特許に記載の磁石はある程度商業的に成功したが、これは大量の超伝導テープで作ることが必要である。通常、50000フィートを超える超伝導テープが必要とされる。現在、超伝導テープのコストは1フィート当たり20セントを超える。したがって、米国特許第5153546号のものでは超伝導テープのコストだけで極めて高価となり得る。また、イメージング容積の中の磁界を均一にするような磁石のシミング (shimming; 調整) も行えることが望ましい。したがって、閉所恐怖の影響と冷凍剤が無くなり、イメージング容積の中の磁界が均一になるとともに超伝導テープのこのような量が削減されれば、なお更に有利な超伝導磁石が提供されることになる。

【0006】 上記の説明から明らかなように、冷凍剤が無く、囲いをされた超伝導磁石に伴う閉所恐怖の影響を無くすることができ、しかも少量の超伝導テープだけを使用するとともに、イメージング容積の中の磁界を均一にすることができるような超伝導磁石が当業で必要とされている。本発明の目的は当業でのこの要求や他の要求を満たすことであり、その方法は熟練した当業者には以下の開示により更に明らかとなる筈である。

【0007】

【発明の概要】一般的に言えば、本発明ではこれらの要求を満たすため、超伝導コイル手段、上記コイル手段に動作上結合された強磁性磁心手段、および上記磁心手段に動作上結合された第1および第2の磁極片を含み、上記第1および第2の磁極片がそれらの間にギャップを形成するように所定の間隔だけ離して配置され、そして上記第1および第2の磁極片に隣接して受動シム手段が配置されているC字形超伝導磁石を設ける。

【0008】いくつかの実施例では、超伝導コイル手段は超伝導巻線、熱シールド、真空エンベロープ、および低温冷却器を含む。また、強磁性磁心手段は鉄で作られる。最後に、シム手段は、シミング用トレイおよび受動シムを含む。更にもう一つの実施例では、超伝導材料の使用量を削減するとともにイメージング容積の中の磁界を均一にすることにより、従来の超伝導磁石に比べてC字形磁石は出入りが容易になり、コストが低減される。

【0009】本発明による好ましい超伝導磁石では次のような利点が得られる。すなわち、超伝導材料の使用量の削減、優れたイメージング特性、優れた経済性、イメージング容積の中の均一化された磁界、良好な耐久性、および高い安全性である。実際、多くの実施例では、これらの超伝導材料の使用量の削減、イメージング特性、均一化された磁界、および経済性の要素が最適化され、その程度は従来の公知の超伝導磁石でこれまで達成された程度に比べてかなり高い。

【0010】説明が進むにつれてより明らかとなる本発明の上記の特徴および他の特徴は、付図を参照した以下の詳細な説明により最も良く理解することができる。付図のいくつかの図を通じて同一の参照番号は同一の部品を表す。

【0011】

【実施例の記載】まず図1には、C字形超伝導磁石2が示されている。磁石2の一部には、超伝導コイル集合体6、強磁性磁心集合体50、磁極片集合体100、およびイメージング容積150が含まれている。詳しく述べると、超伝導コイル集合体6の一部には、通常の超伝導巻線10、コイル型枠11、通常の超伝導スイッチ12、通常の熱シールド14、通常の真空エンベロープ16、および通常の低温冷却器18が含まれている。コイル型枠11は、繊維強化エポキシ(FRE)複合材で作ることが好ましい。またスイッチ12は、銅積層超伝導テープで作ることが好ましい。真空エンベロープ16は非磁性ステンレス鋼(NMSS)で作ることが好ましい。最後に、低温冷却器18は通常のギフォード・マクマホン(Gifford-McMahon)低温冷却器で作ることが好ましい。

【0012】超伝導コイル集合体6は、通常の溶接によって磁心集合体50に取り付けることが好ましい。磁心集合体50の一部には、強磁性磁心52および58が含まれる。磁心52および58は、鉄のような任意の適当

な強磁性材料で作ることが好ましい。磁心58は通常の締め具54により磁心52に取り付けられる。超伝導コイル集合体6から離れたところに、磁極片集合体100が配置される。磁極片集合体100は通常の締め具56によって磁心集合体50に取り付けることが好ましい。磁極片集合体100に隣接して、イメージング容積150が配置される。容積150は、直径が約10cmの球のイメージング容積とすることが好ましい。

【0013】図2は、C字形超伝導磁石2の平面図である。詳しく述べると、図2に示すように、コイル型枠11はつり棒20によって真空エンベロープ16の中につるされる。棒20はインコネル(inconel)で作ることが好ましい。つり棒20の数は3個とし、真空エンベロープ16の中でコイル型枠11の最大支持が行われるようにコイル型枠11のまわりに等距離に配置することが好ましい。図2には、超伝導リード線22も示されている。リード線22は銅で作り、通常の締め具(図示しない)によってコイル型枠11に取り付けることが好ましい。

【0014】磁心52について説明すると、磁心52が真空エンベロープ16から磁極片集合体100に向かって伸びるにつれて磁心52が先細になっていることがわかる。磁心集合体50の重量を減らすために、磁心52が先細になっている。図3は超伝導コイル集合体6の更に詳細な図である。前に説明したように、超伝導コイル集合体6の一部には、巻線10、コイル型枠11、超伝導スイッチ12、熱シールド14、真空エンクロージャ16、および低温冷却器18が含まれている。図3でよりはっきりとわかるように、コイル型枠11が通常の締め具30によってスイッチ12に結合される。また、コイル型枠11はブラケット32および通常の締め具33によってつり棒20に結合される。超伝導リード線22はコイル型枠11に取り付けられる。リード線22を使用して、コイル型枠11に電力が供給される。通常のリングプレート34を使用して、真空エンクロージャ16がプレート37に取り付けられる。通常の締め具36を使用して、プレート34が真空エンクロージャ16に取り付けられる。また、通常の締め具38を使用して、真空エンクロージャ16の種々の部品が一緒に取り付けられる。締め具38に隣接して、通常のエラストマーのOリング39が配置されている。Oリング39は、ガスが超伝導コイル集合体6の中に漏れないようにするために使用される。通常の締め具44およびブロック42を使用して、低温冷却器18を真空エンクロージャ16に取り付ける。最後に、通常の締め具44を使用して、熱シールド14の種々の要素を一緒に取り付けられる。

【0015】図4は磁極片集合体100の端面図を示す。集合体100の一部には、通常の磁極板102、磁極板リング104、シミング用トレイ106、受動シミング位置107、および受動シム108が含まれる。リ

リング104は、鉄のような適当な強磁性材料で作ることが好ましい。トレイ106は、ガラスエポキシのような適当な非強磁性材料で作ることが好ましい。最後に、受動シム108は、鉄のような適当な強磁性材料で作ることが好ましい。

【0016】次に、リング104の正しいリング心合わせを行うための手順について説明する。最初に、リング104のベース厚さに対する校正を行う。この校正は、二通りのやり方で行うことができる。第1のやり方では、すべてのリング104に対して、またどのリング104も無い状態で通常の三次元有限要素規準を実行し、解を減算する（以後、数値校正と呼ぶ）。第2のやり方では、一度すべてのリング104が存在する状態で通常の三次元有限要素規準を実行し、それらの影響を解析的に計算することにより計算された磁化を使用する（以後、解析校正と呼ぶ）。一旦、校正が行われれば、最良の均一度を達成するためにリング104の厚さを最適化する最適化プログラムが実行される。好ましい最適化プログラムは、米国特許第5045794号に述べられているものである。このプログラムは受動シミング最適化手法を使用し、リング104の正しい厚さ（正または負）を求める。リング104の配列が作成されると、リング104の有効性を評価するためにもう一つの三次元有限要素解析が遂行される。適正な収束値に達するまで、反復して行われる。

【0017】通常の締結手法によって、円形の受動シミング用トレイ106がリング104に取り付けられる。イメージング容積150の中の磁界を均一にするために、ほぼ $3 \times 3 \text{ cm}^2$ で、厚さが0.001から1.0インチの範囲にある受動シム108が各トレイ106上のシミング位置107に配置される。位置107およびシム108の厚さを決めるために、米国特許第5045794号に述べられているような最適化手順が使用される。磁石2の受動シミングは、2つの相次ぐアプローチで行われる。第1に、設計サイクルの間に、受動シミング補正のために、磁極片集合体100の形状によって補正できない均一度を試験する。製造後、イメージング容積150の中のどんな磁界不均一度も受動シミングによって補正される。前に述べた三次元有限要素コンピュータプログラムを繰り返し遂行することにより、または通常の解析的閉形式の手法により、シムの有効性に対する校正がまず行われる。磁石2が作られた後、各位置107に基準厚さのシム108を配置し、イメージング容積150に対するすべてのマッピング点でシム108の影響を測定することにより、更に精密な校正が行われる。

【0018】磁石2の動作中、磁界は超伝導コイル集合体6によって作成され、C字形磁心集合体50および磁極片集合体100によって伝えられ、増強される。これにより、磁極片集合体100の磁極片相互の間に比較的

強い磁界が作られ、その結果、イメージング容積150が作られる。磁極板102相互の間に、所望の磁界、たとえば0.3テスラの磁界を作るために、C字形の磁心52および磁極片集合体100の寸法および形状、ならびに超伝導コイル集合体6のアンペア回数が同時に設計される。イメージング容積150の中で所望の不均一度となるように磁石2を正しく設計するために、前に述べた三次元の非線形電磁有限要素解析が反復して使用される。

【0019】イメージング容積150の中の磁界を均一にするために、いくつかの手法が使用される。この場合、容積150の中の初期不均一度は約15000 ppmとなるように計算される。設計磁界許容差補正のために、次の2つのアプローチが使用される。第1のアプローチでは、超伝導コイル集合体6の存在によって生じる不均一度を、磁極板102の角度を変えることによって補正することができる。これは、上記の三次元有限要素規準の多重実行によって行われる。更に詳しく述べると、基本的な場合（磁極板102の傾斜が無い場合）、および磁極板102の角度が小さい、すなわち0.1度であるもう一つの場合を解析し、イメージング容積150の中の均一度の改善を評価する。均一度が最適となるように、この角度が（解析を介して）繰り返し調整される。小さな傾斜角が超伝導コイル集合体6の存在によって生じる非対称を相殺することができるということが解析的に確かめられた。

【0020】第2に、磁極板102によって、軸対称な型の不均一度が存在する。この不均一度は、磁極板102の上にリング104を形成することによって補正することができる。これらのリング104は半径方向の幅が2.5センチメートルであることが好ましい。各リング104は、磁界の不均一度を補正するために異なる厚さとすることができる。更に、不均一度をより一層補正するために、リング104の代わりに磁極板102にみぞ105を機械で形成することができる。その結果としてイメージング容積150の中に生じる不均一度はこのとき、リング104を使用することにより15000 ppmから約2000 ppmに低下する。リング104の上にシム108を配置した後、不均一度が2000 ppmから約10乃至20 ppmに低下する。

【0021】上記の開示により、熟練した当業者には多くの特徴、変形、または改良が明らかとなる。したがって、このような特徴、変形、または改良は本発明の一部と考えられる。本発明の範囲は特許請求の範囲により判定されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるC字形超伝導磁石の概略正面図である。

【図2】本発明によるC字形超伝導磁石の概略平面図である。

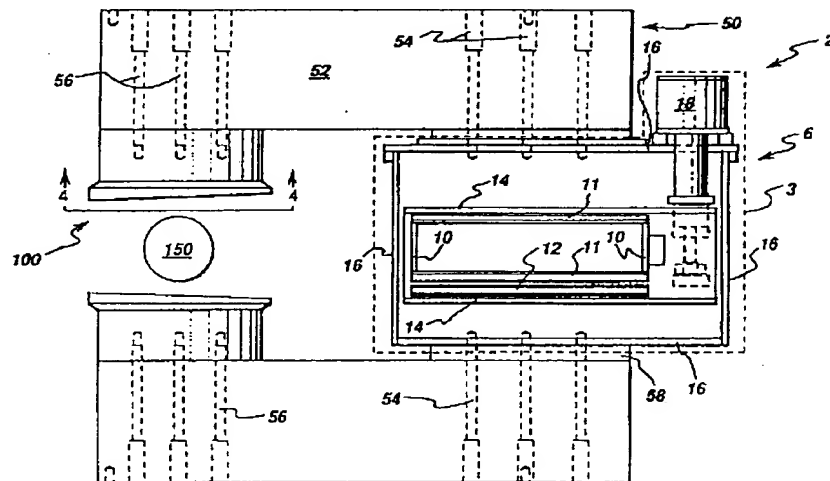
【図3】破線領域3に沿って図1から抜き出した、本発明によるC字形超伝導磁石の超伝導コイルの詳細図である。

【図4】本発明によるC字形超伝導磁石の磁極片の、図1の線4-4に沿って見た端面図である。

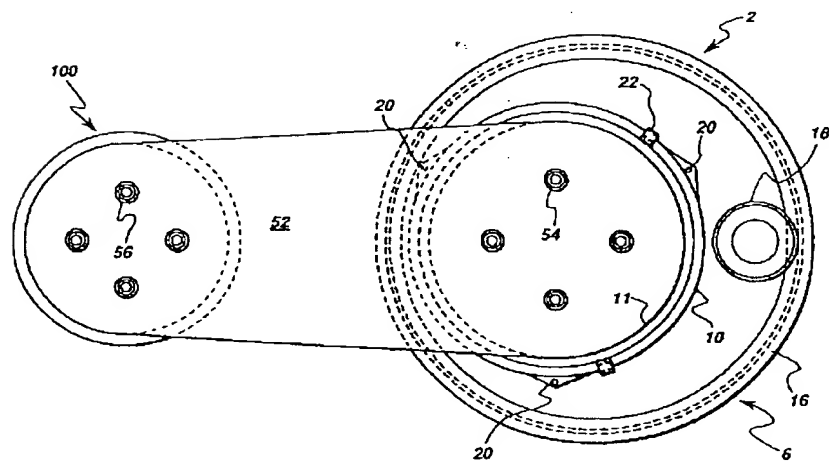
【符号の説明】

- 2 C字形超伝導磁石
- 6 超伝導コイル集合体
- 50 磁心集合体
- 100 磁極片集合体
- 104 磁極板リング
- 108 受動シム

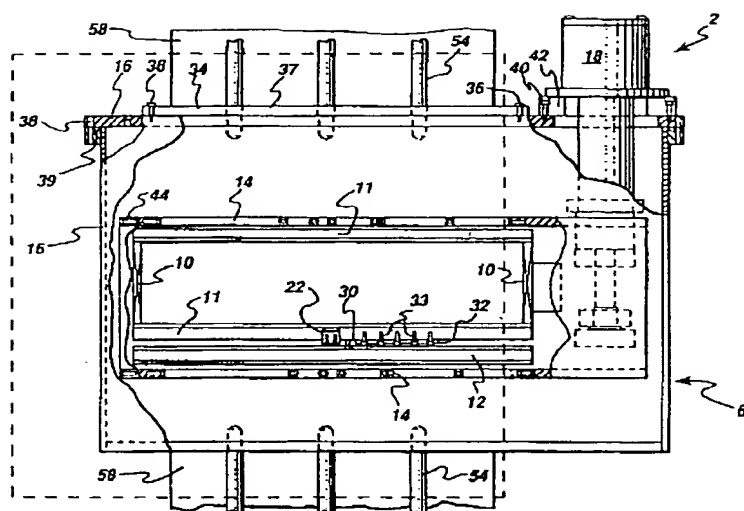
【図1】



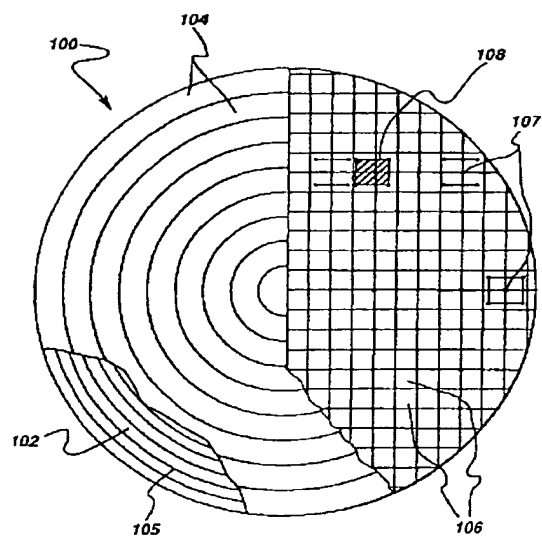
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 ギャリー・ベッドロジアン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、デルマー、ウエストチェスター・ドライブ、245番

(72)発明者 バシン・スー
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、フローレンス、ブリアール・レイス・ロード、708番